

文章编号 0258-7106 ( 2007 ) 06-0643-08

# 试论贵州水银洞金矿床中胶状黄铁矿的含金性

陈景河,葛广福,王军荣

(紫金矿业集团股份有限公司 福建 上杭 364200)

**摘 要** 贵州省贞丰县水银洞金矿是近几年发现的大型-特大型规模的微细粒浸染型金矿床。以往的研究中强调了黄铁矿与金的密切关系,但实践中发现并不是矿床中所有黄铁矿都含金。为了弄清黄铁矿含金性的规律,作者采集了不同品位、不同部位(矿体、顶底板及顶底板中的脉)的样品进行了详细的矿相学岩石学研究,结合电子探针、化学分析结果,同时参考了前人关于黄铁矿标型特征的研究及黔西南微细浸染型金矿的研究成果,认为本矿区黄铁矿具有多样性,而富含有机质的低温热液阶段形成的胶状黄铁矿和五角十二面体黄铁矿是矿区最重要的载金黄铁矿。含金胶状黄铁矿具有球状外形、环形收缩裂纹和龟裂纹等可识别的标志。金就富集在胶状黄铁矿及少量五角十二面体黄铁矿的外圈环带中,即富砷的外带部位,并与低硬度区相吻合。

**关键词** 地质学,胶状黄铁矿,水银洞金矿,贵州贞丰

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

## A tentative discussion on gold potential of pyrogelite in Shuiyindong gold deposit, Guizhou Province

CHEN JingHe, GE GuangFu and WANG JunRong

(Zijin Mining Group Company Ltd., Shanghang 364200, Fujian, China)

### Abstract

The Shuiyindong gold mine discovered in recent years in Zhenfeng Country of Southwest Guizhou is a large or superlarge dissemination type gold deposit. Gold minerals in this deposit are closely related to pyrite. Genetic mineralogical studies of pyrites from this mine show that pyrites have four genetic types, namely, syngenetic mechanical sedimentation, syngenetic chemical sedimentation, sedimentation contemporaneous with rocks, and epithermal origin. The epithermal pyrite is the main mineral associated with gold. Epithermal pyrogelite and altered epithermal pyrogelite are most important auriferous minerals of the epithermal epoch. Auriferous pyrogelite is characterized by such obvious marks as spherical shape, ringed shrinkage cracks and tortoise shell cracks. Gold is concentrated in outer rings of pyrogelite and minor pentagonal dodecahedral pyrite, i. e., the As-rich outer zones, which are consistent with the As-rich and low hardness areas.

**Key words:** geology, pyrogelite, Shuiyindong gold mine, Zhenfeng in Guizhou

贵州水银洞金矿床位于黔西南贞丰县城西北约 20 km 处(图 1),处于灰家堡金矿田东端。该矿田由西向东分布着紫木幽大型金矿、太平洞大型金矿和水银洞金矿以及若干小型矿床(点)矿田。经详查证

实,水银洞金矿床的储量大于 50 t,是滇黔桂“金三角”中具有代表性的大型金矿床。

该区出露的地层主要为晚古生代与中生代地层,其中以下二叠统茅口组、上二叠统龙潭组和大

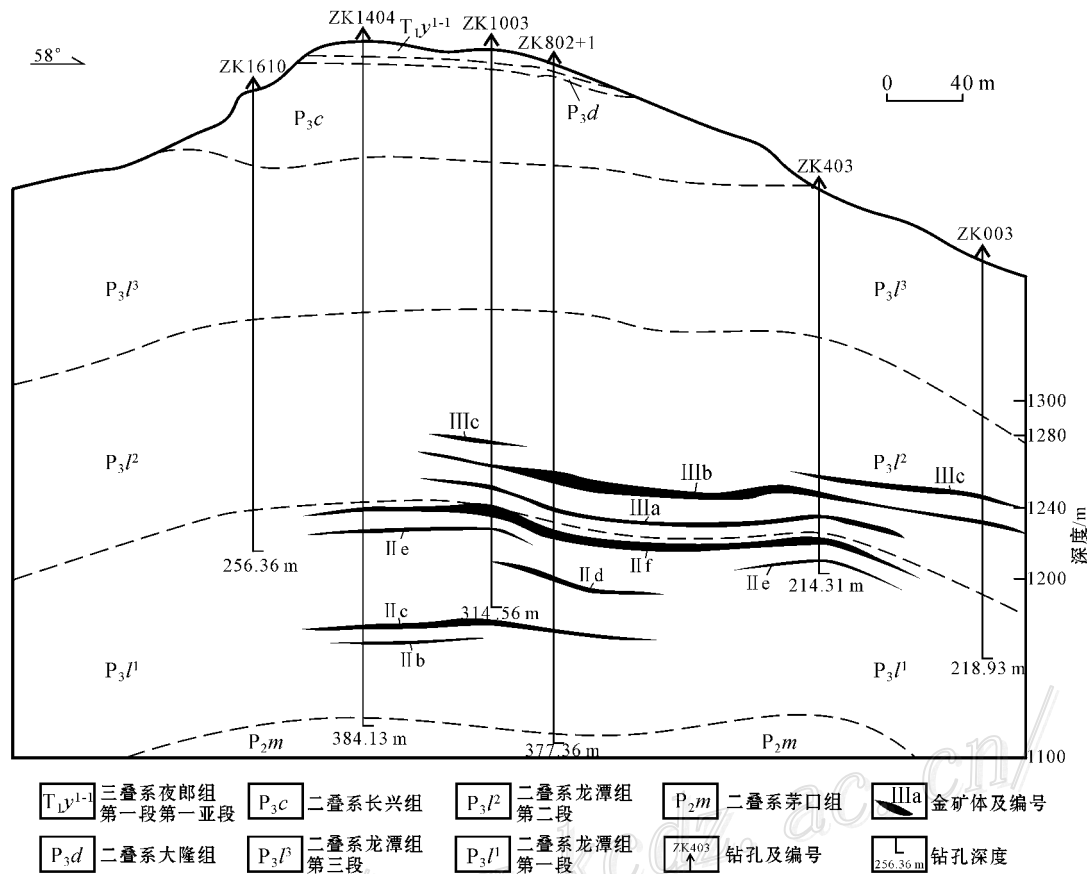


图 1 贵州贞丰水银洞金矿 SW 向矿体分布图

Fig. 1 Geological plan of the SW-trending ore body in the Shuiyindong gold deposit , Guizhou Province

隆组、下三叠统夜郎组较发育 ,并构成了复式褶皱。水银洞金矿产于东西向展布的灰家堡背斜向东倾伏端 ,为一隐伏矿体。矿体赋存在上二叠统龙潭组中下部含玄武质火山碎屑沉凝灰岩和生物碎屑灰岩中 ,呈层状、似层状或透镜状。产状基本上与围岩一致 ,走向近东西 ,倾向北 ,局部因受倾伏构造影响有所变化 ,倾角平缓 (图 1)。矿石以碳酸盐岩微细浸染型为主 ,矿石矿物有黄铁矿、毒砂、雄黄、雌黄和辉锑矿等。矿石品位较高 ,金平均含量在 10 g/t 左右 ,20 g/t 品位以上的矿石占较大比例 ,金的最高品位可达 168 g/t。矿石中出现多个世代的黄铁矿 ,它们的形态特征各不相同 ,金矿主要富集在五角十二面体与胶状黄铁矿中。金以何种形式赋存对金矿的开采及选冶等影响较大 ,以往对这方面的研究不多 ,特别是对不同特征的黄铁矿与金的关系更是很少研究 ,本文将着重对其进行探讨。

# 1 微细粒浸染型金矿中的黄铁矿

对金矿体及其顶底板强烈蚀变的玄武质沉凝灰岩以及中晚期热液脉中大量黄铁矿的研究表明 ,水银洞矿区的黄铁矿主要分为 4 种。

第一种黄铁矿呈碎屑状 ,并可相对富集成富黄铁矿微层 ,主要分布于玄武质火山碎屑岩中 ,矿体中很少见到。这种黄铁矿不含金 ,当其含量 (质量分数 ,下同 ) 达 35.4 % 时 ,其 Au 的含量仅  $0.21 \times 10^{-6}$ 。电子探针分析表明 ,黄铁矿的 Fe 46.53 % ,S 53.46 % ,各自接近理论值 ;As 含量小于 0.02 % ,显微维氏硬度 (Hv) 在 985 ~ 1 108 之间 ,无明显变化规律。可能属于同生机械沉积的产物。

第二种黄铁矿为莓状、蛙卵状黄铁矿 ,常呈胶状或絮状体等 ,此类黄铁矿常与微生物活动有关 (胡晓

强等,2003),不含金,粒度较小,粒径 $<0.05\text{ mm}$ ,它主要产于矿体顶底板玄武质沉凝灰岩中及矿体中无矿地段,含金量 $w_{\text{Au}} < 1.0 \times 10^{-6}$ 。该类黄铁矿可能是同生沉积产物。

第三种黄铁矿为立方体,这种黄铁矿自形度高,粒度细小,以 $0.05 \sim 0.005\text{ mm}$ 为主,多呈浸染状分布。黄铁矿的电子探针分析值接近理论值,Fe 46.53%,S 53.46%。Co、Ni、As 含量极微,甚至测不出,维氏硬度 $H_v = 911 \sim 1\,090$ ,硬度值无分带性。这是由于沉积物在上伏负荷压力下被胶结、硬化成岩过程中,由同生化学沉积非晶质黄铁矿胶粒 $\rightarrow$ 莓状体 $\rightarrow$ 晶质莓状体 $\rightarrow$ 立方体的一系列转变,最终形成规则或不规则的立方体(田啟芳,1985)。

第四种黄铁矿是五角十二面体黄铁矿和胶状黄铁矿,粒度细小,粒径在 $0.1 \sim 0.01\text{ mm}$ 之间。凡是五角十二面体黄铁矿和胶状黄铁矿含量占黄铁矿中绝对优势的金矿石,其金品位就非常高,如Ⅱf、Ⅱa、Ⅲc等矿体中的黄铁矿,其金的含量为 $168 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 。与前人关于黄铁矿标型矿物研究的大量成果一致,已证实该矿区五角十二面体黄铁矿是该矿区重要载金矿物(韩至钧等,1999),在此不作详述。只对胶状黄铁矿与金矿的关系作进一步研究。

## 2 胶状含金黄铁矿的矿物特征

多年来,对黄铁矿标型特征的研究有大量的专著和文章(崔彬等,2002;陈光远等,1987a,1987b;帅德权,1981;田啟芳,1985;徐国风等,1980,1985;李晶等,2004;周学武等,2004;赵利青等,1997),但是,在这些专著和论文中都未涉及到胶状黄铁矿的标型,也未证实它是微细浸染型金矿中的主要载金矿物之一。

对微细浸染型金矿来说,无论金是产于构造破碎带中,还是层控矿床中,其中发育在低温热液成矿作用晚期的胶状黄铁矿都是金的载体矿物。由于胶状黄铁矿是不稳定的,胶粒沉淀后由于性质不同会形成胶冻或絮凝物,这些沉淀物中的分散介质会自发的与分散相分离,被称为缩水作用,实质上是凝胶的脱水作用,其内出现微孔隙和干裂纹,集合结晶最小表面化导致球状表面的形成。随着时间延长和温度的降低,这种趋势不断加强和加快(别捷赫琴,1963),最终导致形成固态胶体。固态胶体是一种不稳定或准稳定状态,会快速向有序化(晶格化)转变,

所以现在所看到的胶状黄铁矿大多都是变胶状黄铁矿。

### 2.1 胶状黄铁矿的基本特征

本区胶状黄铁矿具有如下特征:

(1)在大多数情况下,能很好地保留胶体形成时的球状、半球状、葡萄状、玛瑙晶腺状构造(照片1、2、3、9);

(2)常具有胶体陈化或重结晶过程中产生缩水作用形成的干裂纹,圆弧形珍珠状裂纹(照片3、4、10、12);

(3)具有圆形生长环带(照片6、7)或加大边(照片5);

(4)可独立形成球状体、集合葡萄状、串珠状等(照片1、2、3、4、9);

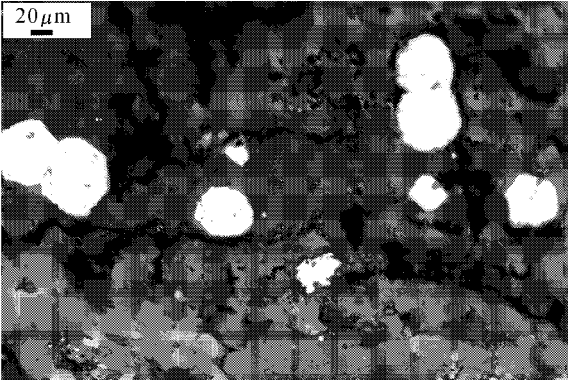
(5)可依附于早期形成的莓状黄铁矿和立方体黄铁矿,形成胶状黄铁矿外壳;

(6)可依附于含铁、镁、铬等元素的有机胶团,形成胶状黄铁矿外壳(照片8);

(7)胶状黄铁矿可与非金属矿物组成黑色胶状环带,形成套环状结构(照片7)。

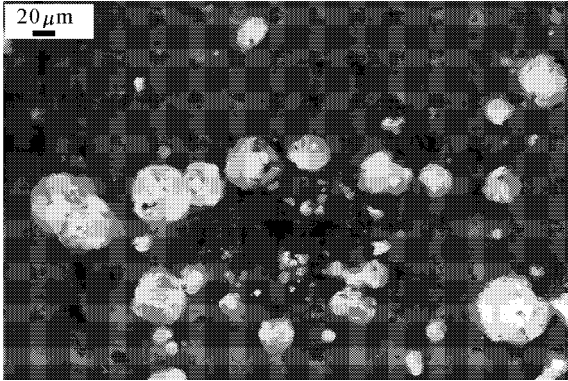
### 2.2 富金胶状黄铁矿含金的特点

为了研究胶状黄铁矿的含金情况,笔者曾把胶状黄铁矿光片放入马福炉中,在 $700^{\circ}\text{C}$ 下加温4小时,冷却后抛光,经观察,在光片中胶状黄铁矿已氧化为赤铁矿,在油浸中放大1250倍,可看到胶状球形黄铁矿边缘有金颗粒(照片11)。这一结果说明了本区金矿的金在胶状黄铁矿中的分布主要集中在黄铁矿边缘或环带的外带。关于胶状黄铁矿与金矿的关系,由于矿物细小,单矿物分离困难,笔者将富矿石切制成一系列光片,通过显微镜观察剔除那些含金五角十二面体黄铁矿和毒砂的光片,仅保留含胶状黄铁矿(可以含少量已被证实不含金的立方体、莓状黄铁矿和毒砂等)的光片,将其碎到325目( $0.043\text{ mm}$ )。经浮选后得尾矿和精矿各一份,送化学分析,获得As、S、Au三个数据,尾矿中 $w_{\text{Au}}$ 为 $19.85 \times 10^{-6}$ ,精矿中 $w_{\text{Au}}$ 为 $211.68 \times 10^{-6}$ 。据S和As的含量(无其他硫化物和毒砂的条件下)分别计算出尾矿中黄铁矿含量2.34%,精矿中黄铁矿含量为24.88%。很容易地计算出,尾矿中黄铁矿含金量 $844.6 \times 10^{-6}$ ,精矿中黄铁矿的含金量 $850.5 \times 10^{-6}$ ,两者惊人的吻合。这就自然得出一个重要结论,该矿石中金的含量与胶状黄铁矿的含量呈正相关关系,胶状黄铁矿是本矿区重要的载金矿物。



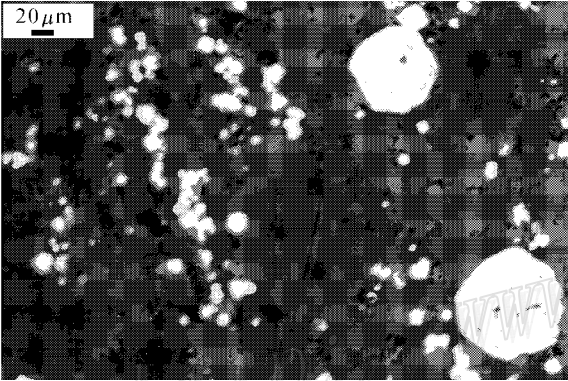
照片 1 贵州水银洞Ⅲa 矿体中胶状黄铁矿球状体及重结晶自发向五角十二面体转变的过程

Photo 1 Micrograph of ore sample from IIIa ore body in Shuiyindong , showing transformation from spherical pyritogelinite to pentagonal dodecahedral pyritogelinite



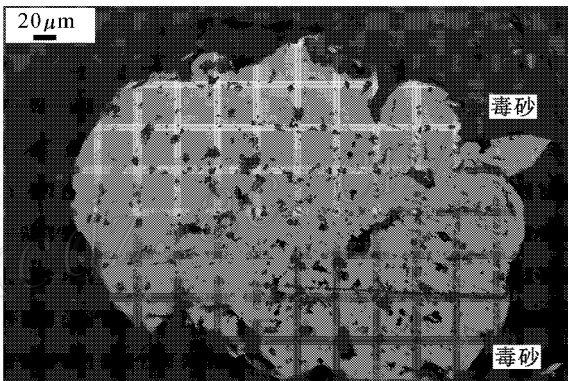
照片 2 贵州水银洞Ⅲc 矿体中高位矿石(含金  $114.53 \times 10^{-6}$ )中球形胶状黄铁矿

Photo 2 Micrograph of high-grade ore sample ( Au  $114.53 \times 10^{-6}$  ) from IIIc ore body in Shuiyindong , showing spherical pyritogelinite



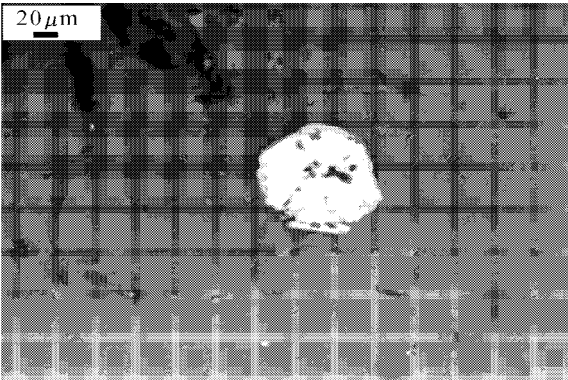
照片 3 贵州水银洞Ⅱf 矿体中高位矿石中胶状黄铁矿(含金  $168.3 \times 10^{-6}$ )中圆环状生成环带

Photo 3 Micrograph of high-grade ore sample ( Au  $168.30 \times 10^{-6}$  ) from II f ore body in Shuiyindong , showing growth ring in pyritogelinite



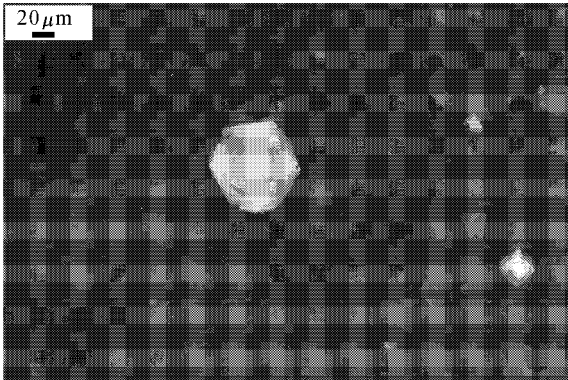
照片 4 贵州水银洞Ⅱf 矿体中一个变胶状黄铁矿群 边部保留球形特征。其边缘包有毒砂颗粒

Photo 4 Micrograph of ore sample from II f ore body in Shuiyindong , showing a cluster of pyritogelinite with spherical periphery and enclosed arsenopyrite grains



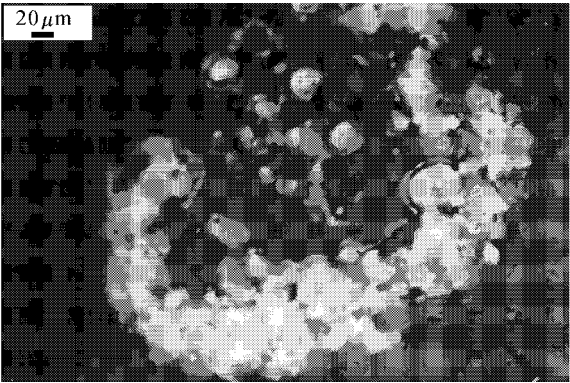
照片 5 贵州水银洞Ⅱf 一个球状黄铁矿和部分五角十二面体加大边

Photo 5 Micrograph of ore sample from II f ore body in Shuiyindong , showing transformation from spherical pyritogelinite to pentagonal dodecahedral pyritogelinite



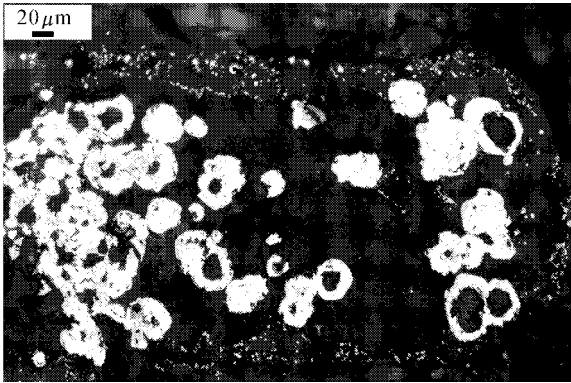
照片 6 贵州水银洞Ⅱf 矿体中一个早期球形胶状黄铁矿转变为五角十二面体形

Photo 6 Micrograph of ore sample from II f ore body in Shuiyindong , showing transformation from early spherical pyritogelinite to pentagonal dodecahedral pyritogelinite



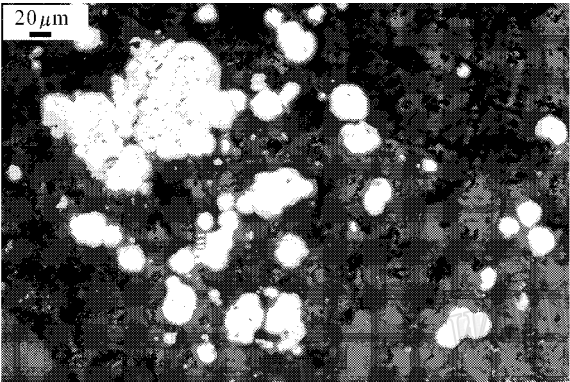
照片 7 贵州水银洞Ⅲc 矿体中有机质和 Mg、Cr、S、Fe 元素组成的黑色环，环外又形成薄薄的胶状黄铁矿

Photo 7 Micrograph of ore sample from IIIc ore body in Shuiyindong, showing black ring composed of organic matter and Mg, Cr, S, Fe elements, with thin pyritogelate outside the ring



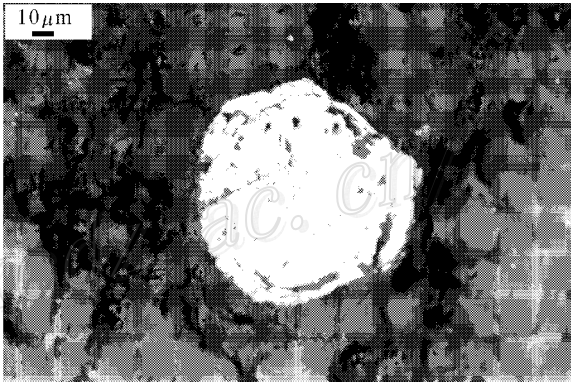
照片 8 贵州水银洞Ⅲc 矿体中有机质和 S、Fe、Mg、Cr、Si 的胶团内核和胶状黄铁矿外环

Photo 8 Micrograph of ore sample from IIIc ore body in Shuiyindong, showing gel core composed of organic matter and S, Fe, Mg, Cr and Si and outer ring composed of pyritogelate



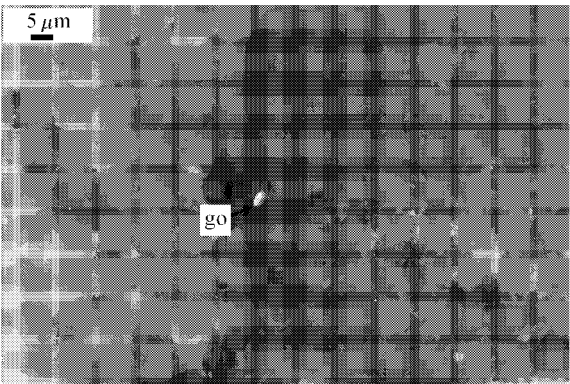
照片 9 贵州水银洞Ⅱf 矿体中高品位矿石( Au 90.38 × 10<sup>-6</sup> )中球状黄铁矿胶粒及其集合体

Photo 9 Micrograph of high-grade ore sample ( Au 90.38 × 10<sup>-6</sup> ) from IIf ore body in Shuiyindong, showing spherical pyritogelate and its aggregate



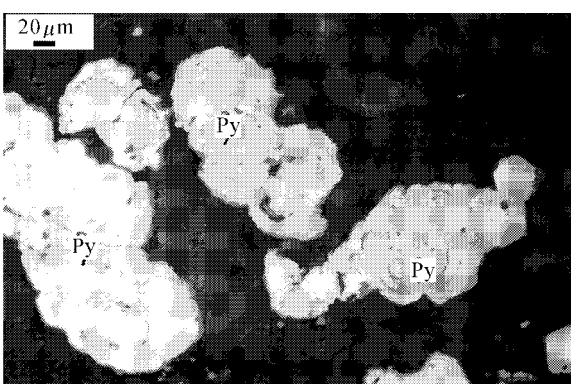
照片 10 贵州水银洞 ZK1124 孔中胶状黄铁矿收缩裂纹

Photo 10 Micrograph of drilled ore sample ( ZK1124 ) in Shuiyindong, showing shrinkage cracks among spherical pyritogelates



照片 11 贵州水银洞Ⅱf 矿体中照片金矿石中一粒球形变胶状黄铁矿在马福炉中 700℃ 氧化成赤铁矿，边缘包含的一粒金 (go)，大小 0.0017 mm Au 168.3 g/t

Photo 11 Micrograph of bioclastic limestone-type gold ore sample ( Au 168.30 × 10<sup>-6</sup> ) from IIf ore body in Shuiyindong, oxidized at 700℃ in muffle furnace, showing gold particle ( go, 0.0017 mm ) embedded in the edge of red spherical hematite



照片 12 贵州水银洞Ⅱf 矿体中胶状黄铁矿 (Py) 内有弧形胶体固化收缩裂纹。含金 168.3 g/t

Photo 12 Micrograph of bioclastic limestone-type gold ore sample ( Au 168.30 × 10<sup>-6</sup> ) from IIf ore body in Shuiyindong, showing auriferous hydrothermal pyritogelate ( Py ) with inner arc shrinkage cracks formed during its solidification

2.3 含金胶状黄铁矿中砷与金的分布关系

对水银洞胶状黄铁矿中心和边缘分别进行电子探针能谱测定,如表 1。



从表中可以看出,在胶状黄铁矿中砷的分布是不均匀的,在其外带砷最高可达 7.42%,而内核含砷极低或根本不含砷。砷的富集特点与金较相似,从黄铁矿中心到边缘,金和砷基本同步增长,金主要分布在含砷胶状黄铁矿外带,这与其他人的研究结果一致(张兴春等,2003)。含砷黄铁矿的阳离子/阴离子比值一般低于纯黄铁矿的比值 0.87,而阳离子/阴

离子的比值 $\leq 0.87$ 的胶状富砷黄铁矿,其矿石金品位一般较高,最高可达  $118.4 \times 10^{-6}$ 。显然,金在胶状黄铁矿中赋存与富集,不仅与其占有空间有关,也与其伴生组分有关,如金与砷的关系密切。

2.4 胶状黄铁矿维氏硬度值与金分布关系

通过对本区的研究,也证实了前人的结论。含金黄铁矿的硬度值比标准黄铁矿的小(韩至钧等,1999;邵洁涟,1988)。但是含金黄铁矿的硬度值大小是变化的,而且具有明显分带性,即由胶状黄铁矿中心向边缘其维氏硬度值由高到低。

表 1 富金黄铁矿的特征  
Table 1 Characteristics of gold-rich pyrite

矿区	晶形	形态	w(B)/%		阳离子/阴离子比值	金矿石品位 $w_{Au}/10^{-6}$
			内核	外带		
水银洞Ⅲc矿体 底板中	立方体	 粒径0.05 mm	S 52.01, Si 0.47, Fe 47.51		(Fe+Si)/S=0.92	0.08
水银洞Ⅲa矿体下部	变胶状	 粒径0.24 mm	▲ <sub>1</sub> As 1.27, S 51.71, Fe 47.02	▲ <sub>2</sub> As 4.77, S 49.42, Fe 45.81	▲ <sub>1</sub> Fe/(As+S)=0.88 ▲ <sub>2</sub> Fe/(As+S)=0.84	80.93
水银洞Ⅲc矿体 距底板20 cm	变胶状	 粒径0.06 mm	▲ <sub>1</sub> S 52.19, Fe 47.81	▲ <sub>2</sub> As 7.42, S 47.43, Fe 45.15	▲ <sub>1</sub> Fe/S=0.91 ▲ <sub>2</sub> Fe/(As+S)=0.82	118.4
水银洞Ⅱf1矿体	变胶状	 粒径0.15 mm	▲ <sub>1</sub> S 52.69, Fe 47.31	▲ <sub>2</sub> As 4.56, S 49.62, Fe 45.83	▲ <sub>1</sub> Fe/S=0.89 ▲ <sub>2</sub> Fe/(S+As)=0.85	51.50 Pt 0.38%
水银洞Ⅲa矿体	变胶状	 粒径0.03 mm	▲ <sub>1</sub> As 1.41, S 50.9, Ca 0.52, Fe 0.47	▲ <sub>2</sub> As 3.13, S 50.27, Ca 0.16, Fe 46.45	▲ <sub>1</sub> (Fe+Ca)/(S+As)=0.89 ▲ <sub>2</sub> (Fe+Ca)/(S+As)=0.87	91.25 Pt 0.21%
水银洞Ⅲa矿体下部	变胶状	 粒径0.15 mm	▲ <sub>1</sub> (早) As 0.47, S 35.47, Fe 63.79 ▲ <sub>2</sub> As 1.11, S 51.93, Fe 45.86	▲ <sub>3</sub> (晚) As=3.96×10 <sup>-2</sup> S=50.18×10 <sup>-2</sup> Fe=45.86×10 <sup>-2</sup>	▲ <sub>1</sub> Fe/(As+S)=1.77 ▲ <sub>2</sub> Fe/(As+S)=0.86 ▲ <sub>3</sub> Fe/(As+S)=0.84	53.25

选取贵州水银洞Ⅲa矿体中矿石金的品位为 $80.93 \times 10^{-6}$ 的胶状黄铁矿样品,进行显微硬度测试。用 LEICA-VMHTMOT-302802 显微硬度仪,在 200 克力 20 秒压时下,测得边缘带 3 个压点,其维氏硬度分别为 488、546、667,平均维氏硬度为 566.33。测定内部 8 个测点的维氏硬度分别为 1 058、1 366、875、1 011、1 156、1 179、1 054、1 099,平均为 1 099.75。由此可以看出,边缘和中心硬度差别相当明显,可以相差 50%。另一样品是Ⅲa矿体靠近底板 30 cm 处取得的,金品位 $118.4 \times 10^{-6}$ ,对 4 粒胶状黄铁矿的边缘和中心不同部位测定 20 个硬度值,结果表明,边缘平均硬度值 824.40~824.33,中心平均硬度值 1 075~1 294(4 粒胶状黄铁矿各自分别平均)。这也说明含金胶状黄铁矿的外带和中心部位硬度值有明显差别。在胶状黄铁矿中,金和砷主要富集区也正是胶状黄铁矿的低硬度区。

### 3 讨 论

#### 3.1 富金胶状黄铁矿为晚期低温热液产物

水银洞矿区胶状黄铁矿,其共生矿物有毒砂、辉锑矿、雄黄、辰砂、沥青、石英、白云石、水云母、高岭石、玉髓。这种矿物组合为典型的低温矿物组合。其成矿温度大多小于 200℃。因此,胶状黄铁矿为晚期低温热液的产物。

#### 3.2 富金胶状黄铁矿形成与有机质关系

在水银洞矿区可以看到细黄铁矿或黄铁矿丝状体和有机物组成的胶团为核心,其外环为胶状黄铁矿(照片 8)。这说明在形成胶状黄铁矿前后,溶液为含有  $\text{FeS}_2$  或  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  的憎液溶胶(傅献彩等,1990),处于有机胶体体系中,早期它含有足够大分子化合物(有机质),使含  $\text{FeS}_2$  或  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  的憎液溶液不易沉淀,一旦大分子有机物混入少量  $\text{FeS}$  和其他电解质后,憎液溶胶中有机大分子化合物浓度快速降低,当小于保护憎液溶胶所必须的数量后,在电解质作用下憎液溶胶被破坏而沉淀,形成很多富有机质胶粒,组成胶团核心,然后胶状黄铁矿沉淀时,就蒙罩在富有机质胶粒上形成胶状黄铁矿外壳。所以本区有机质与胶状黄铁矿关系十分密切,并构成了不同形态的环状构造。

#### 3.3 富金胶状黄铁矿吸附金的合理性

在水银洞矿区高品位矿石中,经常见到黄铁矿的外形已转变为五角十二面体,但其内部仍可见到

胶状球形裂纹(照片 5、6),这说明胶状黄铁矿是准晶体,具有准稳定性,粒度达一定大小就会向具格子构造的晶体转变。在转变过程中首先生成五角十二面体(彭志忠,1985)外形,这种五角十二面体是胶状黄铁矿向晶体转变的第一个环节,在格子化(格子构造)转变过程中,极细的纳米金由内向外排斥,并被推向边缘。所以五角十二面体中金主要富集于外环。

### 4 结 论

通过对矿床中多种成因的黄铁矿含金性的研究,确定了胶状黄铁矿是最主要的载金矿物。这种胶状黄铁矿生成环境为富有机质环境,其内部常为富有机质核心,含金胶状黄铁矿具有球状外形、环形收缩和龟裂纹等鉴别标志,具有很强的聚金能力,而且不具备真正的晶体结构,不稳定,会自发地向晶体转变,其转变过程中把纳米金由内向外排斥到边缘和表面。胶状黄铁矿富金富砷区基本一致,位于胶状黄铁矿外带,也是该种黄铁矿低硬度区域。这可能是金富集于胶状黄铁矿外带的动力之一,所以金易于富集在黄铁矿富砷的外带部位,即胶状黄铁矿外壳中。

根据以上综合研究成果,设计了符合水银洞金矿实际情况的选矿冶炼方案,取得显著的经济效益。对 2 种低品位矿石采用选矿方法(浮选)试验,结果表明:①对矿体中低品位部分矿石可获得  $w_{\text{Au}} \geq 40 \times 10^{-6}$  的精矿(黄铁矿含量 30% 左右);②对矿体顶底板富黄铁矿低品位矿石可获得  $w_{\text{Au}} \leq 10 \times 10^{-6}$  的精矿(黄铁矿含量 70% 左右)。品位高低的关键就是胶状黄铁矿的有无与多少。

致 谢 感谢中国地质科学院地质研究所邱小平博士及本刊的审稿人对本文所做的修辞润色工作。同时也感谢福建紫金矿冶设计研究院刘汉钊教授及华金铭博士作了部分译文工作。

### References

- Chen G Y, Sun D S and Yin H A. 1987a. Genetic and prospecting mineralogy[M]. Chongqing: Chongqing Pub. House. 196~319( in Chinese ).
- Chen G Y, Sun D S, Zhang L, Zang W S, Wang J and Lu A H. 1987b. Morphogenesis of pyrite[J]. Geoscience, 1(1): 60~76



( in Chinese with English abstract ).

- Cui B, Yang M Y, Zhan Z Y, et al. 2002. Research genetic mineralogy of pyrite for north ore zong of Wushan copper deposit[ J ]. *Geology and Prospecting*, 38( 5 ): 44 ~ 48( in Chinese with English abstract ).
- Fu X C, et al. 1990. *Physical chemistry*[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 284 ~ 297( in Chinese ).
- Han Z J and Wang Y G. 1999. *Geology and prospecting of gold deposits in southwest Guizhou Province*[ M ]. Guiyang: Guizhou Sci. & Techn. Pub. House. 32 ~ 36( in Chinese ).
- Hu X Q, CH H D and SH D Q. 2003. Assortment of biological fabric of ore minerals[ J ]. *Geology and Prospecting*, 39( 3 ): 31 ~ 34( in Chinese with English abstract ).
- Li J, Chen Y J and Liu Y X. 2004. Typomorphic characteristics of pyrite from the lode gold deposits in north China craton: Implications for fluid mineralization[ J ]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24( 3 ): 93 ~ 102( in Chinese with English abstract ).
- Peng Z Z. 1985. The founding of five axisofsymmetry and quasicrystals state: The significance on Crystallography, Mineralogy and Geology[ J ]. *Geological information technology*( Wuhan Geology University Pub. House ). ( 3 ): 7 ~ 10( in Chinese ).
- Shao J L. 1988. *Mineralogy of ore prospecting for gold deposit*[ M ]. Wuhan: Chinese Geology University Pub. House. 2 ~ 7( in Chinese ).
- Shuai D Q. 1981. Typomorphic characteristics of pyrite from gold-silver deposit[ J ]. *Geology and Prospecting*, ( 9 ): 5 ~ 9( in Chinese with English abstract ).
- Tian Q F. 1985. The common since health minerals and genesis of seclimentary rocks[ J ]. *Journal of Chengdu Geology University*, ( 2 ): 21 ~ 24( in Chinese with English abstract ).
- Xu G F and Shao J L. 1980. Typomorphic characteristics of pyrite from gold ore[ J ]. *Zhejiang Geology*, ( 1 ): 6 ~ 10( in Chinese with English abstract ).
- Xu G F and Mei J M. 1985. Typomorphism characteristics of pyrite and quartz from Suichang—Longquan district gold-silver ore, Zhejiang Province, China[ J ]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 5( 3 ): 16 ~ 20( in Chinese with English abstract ).
- Zhang X C, Xia Y, et al. 2003. Study of confirmation and implications of gold from Lannigou and Shuiyindong gold deposit[ A ]. In: Tu G C, ed. *Papers of the first session of geological and mineral development strategy seminar in Guizhou*[ C ]. The first session of geological and mineral development strategy seminar in Guizhou, Guiyang: Institute of Geochemistry of Chinese Academy. 43 ~ 44( in Chinese ).
- Zhao L Q, Wang X H, Li Z J and Yuan B Q. 1997. Typomorphic characteristic of pyrite from the Chengjia-Fujia gold deposits along the Wangershan fault, easter Shandong[ J ]. *Mineral Deposits*, 16( 1 ):

71 ~ 78( in Chinese with English abstract ).

- Zhou X W, Li S R, Lu L and Wang J Z. 2004. Research on typomorphism of pyrite from Longkeng gold-silver mineralization district in Wuyi County, Zhejiang Province, China[ J ]. *Journal of Mineral and Petrology*, 3( 3 ): 16 ~ 20( in Chinese with English abstract ).
- Бетехкин А Г, Ге н к и н. А Д. 1963. *Texture and structure of ore* [ M ]. Beijing: China's Industrial Publishing House. 60 ~ 76( in Chinese ).

## 附中文参考文献

- 别捷赫琴 А Г, 耿金 А Д, 等. 1963. 矿石的构造和结构[ M ]. 北京: 中国工业出版社. 60 ~ 76.
- 陈光远 孙岱生 殷辉安. 1987a. 成因矿物学与找矿矿物学[ M ]. 重庆: 重庆出版社. 196 ~ 319.
- 陈光远 孙岱生 张立 臧维生 王健 鲁安怀. 1987b. 黄铁矿成因形态学[ J ]. *现代地质*, 1( 1 ): 60 ~ 76.
- 崔彬 杨明银 詹朝阳. 2002. 武山铜矿北矿带黄铁矿的成因矿物学研究[ J ]. *地质与勘探*, 38( 5 ): 44 ~ 48.
- 傅献彩, 等. 1990. *物理化学* [ M ]. 北京: 地质出版社. 284 ~ 297.
- 韩至钧 王砚耕. 1999. 黔西南金矿地质与勘查[ M ]. 贵阳: 贵州科技出版社. 32 ~ 36.
- 胡晓强 陈洪德 帅德权. 2003. 论金属矿物生物组构分类体系[ J ]. *地质与勘探*, 39( 3 ): 31 ~ 34.
- 李晶 陈衍景 刘迎新. 2004. 华北克拉通若干脉状金矿的黄铁矿标型特征与流体成矿过程[ J ]. *矿物岩石*, 24( 3 ): 93 ~ 102.
- 彭志忠. 1985. 五次对称轴和准晶态的发现在结晶学、矿物学和地质学中的意义[ J ]. *地质科技情报*( 武汉地院出版 ), ( 3 ): 7 ~ 10.
- 邵洁涟. 1988. *金矿找矿矿物学* [ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社. 2 ~ 7.
- 帅德权. 1981. 金银矿床中黄铁矿的标型特征[ J ]. *地质与勘探* ( 9 ): 5 ~ 9.
- 田啟芳. 1985. 沉积岩中常见自生矿物及其成因[ J ]. *成都地院学报*, ( 2 ): 21 ~ 24.
- 徐国风 邵洁涟. 1980. 与金有关的黄铁矿的标型特征[ J ]. *浙江地质* ( 1 ): 6 ~ 10.
- 徐国风 梅建明. 1985. 浙江遂昌-龙泉地区金-银矿床中石英与黄铁矿的标型特征[ J ]. *矿物岩石*, 3( 3 ): 16 ~ 20.
- 张兴春 夏勇, 等. 2003. 贵州烂泥沟和水银洞金矿金的赋存状态研究及其意义[ A ]. 见 涂光炽等. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会论文集[ C ]. 第一届贵州地质矿产发展战略研讨会, 2003 年. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所. 43 ~ 44.
- 赵利青 王小华 李自杰 苑保钦. 1997. 胶东望儿山断裂带陈家—付家金矿床黄铁矿标型特征研究[ J ]. *矿床地质*, 16( 1 ): 71 ~ 78.
- 周学武 李胜荣 鲁力 王吉中. 2004. 浙江弄坑金银矿化区黄铁矿标型研究[ J ]. *矿物岩石*, 24( 4 ): 6 ~ 13.